

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-176942
(P2001-176942A)

(43) 公開日 平成13年6月29日 (2001.6.29)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコード [*] (参考)
H 0 1 L 21/66		H 0 1 L 21/66	J 2 F 0 6 5
G 0 1 B 11/30		G 0 1 B 11/30	A 2 G 0 5 1
G 0 1 N 21/956		G 0 1 N 21/956	A 4 M 1 0 6

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平11-362216

(22) 出願日 平成11年12月21日 (1999. 12. 21)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 宇都 幸雄

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株

式会社日立製作所生産技術研究所内

(72) 発明者 △吉▽田 実

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株

式会社日立製作所生産技術研究所内

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

最終頁に続く

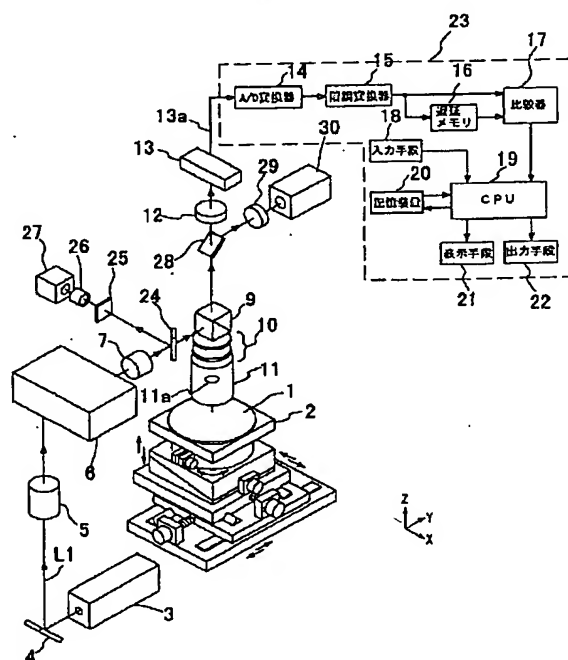
(54) 【発明の名称】 パターン欠陥検査装置

(57) 【要約】

【課題】 紫外レーザ光源の発熱や振動による発振不良などの課題を解消し、微細な回路パターンを高分解能で検出する装置を提供する。

【解決手段】 紫外レーザ装置と光学系を分離して設置し、レーザビームの変動を可視化する観察手段と補正手段を設けた。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 紫外光で半導体回路パターンを照明し、該回路パターンの欠陥を検出するパターン欠陥検査装置において、

レーザ光源と、該レーザ光源から射出されたレーザ光の可干渉性を低減する可干渉低減手段と、該可干渉低減手段を通過したレーザ光を対物レンズの瞳位置に集光させる集光手段と、該集光手段により前記対物レンズの瞳上に集光されたレーザ光を、前記集光手段と対物レンズに至るまでの光路中に配置した観察手段により、対物レンズ瞳上に集光されたレーザ光を観察可能にしたことを特徴とするパターン欠陥検査装置。

【請求項 2】 上記観察手段は、不可視光の波長を可視光変換手段で可視化して観察するようにしたことを特徴とする請求項第 1 項記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項 3】 上記レーザ光源は、上記回路パターン検出系の搭載手段と分離設置することを特徴とする請求項第 1 項記載のパターン欠陥検査装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体デバイス製造工程やフラットパネルディスプレイの製造工程に代表される微細パターン欠陥及び異物等の検査や観察に用いる高解像度光学系とこれを用いた欠陥検査装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 半導体の高集積化に伴い、回路パターンは益々微細化の傾向にある。この中で半導体素子をホトリソ工程で製造する際に用いられるマスクやレチクル、これらに形成された回路パターンが露光によって転写されるウェハ上のパターン欠陥は益々高解像度での検出が要求されている。解像度を高める手法として、照明光の波長を可視光から紫外光へ短波長化することが挙げられる。従来、光源としては水銀ランプが用いられ、水銀ランプの持つ種々の輝線の中から必要とする波長のみを光学的に選択して使っていた。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、水銀ランプの輝線では発光スペクトル幅が広く光学系の色収差を補正するのが困難であること。十分な照度を得るためには光源が大形になり、効率が悪いなどの問題がある。近年、半導体製造における露光装置用光源として、波長 248 nm の KrF エキシマレーザ装置を搭載した露光装置が開発されているが、エキシマレーザ光源は大形であり、またフッ素ガスを使用しているため所定の安全対策が必要などの問題がある。紫外レーザ光源としては、例えば、固体の YAG レーザ光を非線形光学結晶により波長変換したレーザ装置や、Ar-Kr レーザ装置等があり、波長 266 nm ないし 355 nm のレーザ光を得ることができる。これらのレーザ装置は、従来、光源とし

ていたランプに比べ、出力が大きい点が利点であるが、装置の大形化や、あるいはリング形の共振器を用いて基本波の第 3、あるいは第 4 高調波を発生させるものであり、共振器の内部はかなり複雑な構造を呈している。このため、パターン検査あるいは測定装置への搭載は、発熱や機構部分の振動の影響を考慮すると、従来のランプのように、光学系と同一の架台には設置できない。また、照明光源として使用する場合、紫外光は目に見えないので、光軸調整など扱いにくい問題があった。

【0004】 そこで本発明の目的は、上記問題を解消し、紫外レーザ光を光源として安定した高効率照明を実現すると共に、半導体素子等の微細パターンを高解像度に検出できるパターン欠陥検査装置を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するために、レーザ光源を光学系と切り離して設置する構成にし、これによるレーザビームの変動を常時モニタして、変動量を補正する手段を設けると共に、光路中に設けたコヒーレンス低減手段により、レーザスペckルの発生を抑制するようにした。さらに光路を分岐して設置した観察手段により、不可視の紫外レーザ光を可視化して対物レンズ瞳上での照明状態をモニタして最適な照明条件となるように照明系を補正し、更に対物レンズ瞳上での被検査物表面からの反射光強度を測定し、平均化する手段を設けて、半導体素子等の微細パターンを高解像度に検出できるようにした。

【0006】

【発明の実施の形態】 以下、本発明の実施例について図 1～図 10 により説明する。

【0007】 図 1 は、本発明に係わる装置の一例を示す図である。本発明では DUV 領域で高輝度の照明を行うために、DUV レーザ光を光源としている。2 は X, Y, Z, θ 方向の自由度を有したステージであり、試料として被検査パターンの一例である半導体ウェハ 1 が載置される。レーザ光源 3 から発せられたレーザ光 L 1 はミラー 4、ビームエキスパンダ 5、コヒーレンス低減光学系 6、レンズ 7、偏光ビームスプリッタ 9、偏光素子群 10 を介して対物レンズ 11 に入射し、被検査パターンの一例である半導体ウェハ 1 上に照射される。ビームエキスパンダ 5 はレーザ光をある大きさに拡大するものであり、拡大されたレーザ光 L 1 はレンズ 7 によって対物レンズ 11 の瞳付近 11a に集光された後、試料上にケラー照明される。試料からの反射光は、試料の垂直上方より対物レンズ 11、偏光素子群 10、偏光ビームスプリッタ 9、結像レンズ 12 を介してイメージセンサ 13 で検出される。偏光ビームスプリッタ 9 は、レーザ光の偏光方向が反射面と平行な場合は反射し、垂直な場合は透過する作用をもつ。光源としているレーザ光は、元々、偏光レーザであり、偏光ビームスプリッタ 9 は、こ

のレーザ光が全反射するように設置されている。一方、半導体プロセスによりウェハ1上に形成された被検査パターンは、様々な形状を呈している。このため、パターンからの反射光は、様々な偏光成分を持っている。偏光素子群10は、レーザ照明光及び反射光の偏光方向を制御して、パターンの形状、密度差により、反射光がイメージセンサ13へ明るさむらとなって到達しないように調整する機能を有するもので、例えば照明波長の位相を45度、ないし90度変化させるための波長板で構成されている。イメージセンサ13は被検査パターンの一例である半導体ウェハ1からの反射光の明るさ（濃淡）に応じた濃淡画像信号を出力するものである。14はA/D変換器であり、イメージセンサ13から得られる濃淡画像信号13aをデジタルに変換するものである。すなわち、ステージ2を走査して被検査パターンの一例である半導体ウェハ1を等速度で移動させつつ、図示していない焦点検出系で、半導体ウェハ1被検査面のZ方向の位置を常に検出し、対物レンズ11との間隔が一定になるようにステージ2をZ方向に制御して、イメージセンサ13により半導体ウェハ1上に形成された被検査パターンの明るさ情報（濃淡画像信号）を高精度で検出する。15は、例えば8ビットの階調変換器であり、A/D変換器14から出力されるデジタル画像信号に対して特開平8-320294号公報に記載されたような階調変換を施すものである。即ち、階調変換器15は対数、指数、多項式変換等を施し、プロセスで半導体ウェハ1上に形成された薄膜と、レーザ光が干渉して生じた画像の明るさむらを補正するものである。16は遅延メモリであって、階調変換器15からの出力画像信号をイメージセンサ13の走査幅でもって、半導体ウェハ1を構成する1セル又は1チップ又は1ショット分記憶して遅延させるものである。

【0008】17は比較器であり、階調変換器15から出力される画像信号と、遅延メモリ16から得られる画像信号とを比較し、不一致部を欠陥として検出するものである。

【0009】比較器17は、遅延メモリ16から出力されるセルピッチ等に相当する量だけ遅延した画像と検出した画像とを比較するものであり、設計情報に基づいて得られる半導体ウェハ1上における配列データ等の座標をキーボード、ディスク等から構成された入力手段18で入力しておくことによりCPU19は、比較器17による比較の結果を入力された半導体ウェハ1上における配列データ等の座標に基づいて、欠陥検査データを作成して記憶装置20に格納する。この欠陥検査データは、必要に応じてディスプレイ等の表示手段21に表示することもでき、また出力手段22に出力して、例えば他のレビュー装置等で欠陥箇所の観察も可能である。

【0010】なお、比較器17の詳細は、特開昭61-212708号公報に示したものと等しく、例えば画像

の位置合わせ回路や、位置合わせされた画像の差画像検出回路、差画像を2値化する不一致検出回路、2値化された出力より面積や長さ、座標等を抽出する特徴抽出回路から構成されている。

【0011】次に光源について説明する。高解像像を得るためには波長の短波長化が必要であり、検査速度の向上には高輝度照明が必要である。従来の照明光源として、例えば水銀キセノン等の放電ランプを用いて、ランプの持つ発光スペクトル（輝線）のうち、可視域を広範囲に使うことにより、照明光量を確保していた。しかし、ランプの持つ紫外、深紫外領域での発光スペクトルは、可視光に比べ、数パーセント程度であり、所望の輝度を確保するためには大形の光源が必要となる。光源が大形化した場合、問題となるのは発熱による光学系への影響であるが、光源からレンズ系により照明光を導くため、光学系から遠ざけることにも限界がある。このような観点から、本発明では、短波長を容易に確保できる紫外レーザ光を光源としている。紫外レーザ光源として、最近では固体のYAGレーザを非線形光学結晶等で波長変換して基本波の第3高調波（355nm）や、第4高調波（266nm）を発生する装置がでており、これらを利用することも考えられる。高調波を発生させるため、レーザ装置の内部には共振器が設けられている。すなわち、入力した基本波をキャビティと称するミラー共振器で共振させて、特定波長のみを出力させている。共振器内の一部のミラーは安定共振となるよう振動し、電気的にフィードバックされている。これらのレーザ装置を光源としてパターンの欠陥検査へ適用するための課題として、レーザ装置の冷却、及びレーザ装置への振動の影響を考慮する必要がある。

【0012】そこで、本発明者は、図10に示すように、レーザ光源3を光学系85から分離して設置し、ステージ等が発する機械的振動のレーザ装置への伝播、及びレーザ装置からの光学系への熱伝導を遮断する構成にした。本実施例ではレーザ光源を除振定盤80の下部に設置した場合を示している。この場合、図示していないが、レーザ光源の発する熱が上部の定盤に伝わらないよう局所的な排気が必要である。レーザ光源3から出射したレーザ光L1は、ミラー4でZ方向に折り返され、ミラー90、ビームエキスパンダ5を介して、光学系85に到達する。半導体ウェハ1表面のパターン検査は、ウェハ1を載置したステージ2をXY方向に走査して、全面を検査するが、検査中はステージ移動に伴ってその重心位置が変化するため定盤が傾斜する。この場合、エアサージ等により、定盤は水平状態に戻されるが、レーザ光源3から出射されるレーザL1はビーム径が1mm以下であり、光学系85とレーザ光L1の光軸が一時的に光軸外となることが予想される。このため本発明では、定盤80上にミラー90、レンズ91、位置検出器92を設置し、これによりレーザ光L1の移動量を検出

し、ミラー4をピエゾなどのアクチュエータを用いて移動させ、軸外となったレーザ光L1の光路を高速修正するものである。ここでミラー90は、レーザ光L1の僅かな光を反射するよう反射膜がコーティングされたものであり、レンズ91は反射光を位置検出器92に拡大投影する。位置検出器92は、例えば受光素子がXZ方向に分割して配置されており、受光素子の検出信号を図示していない電気回路で演算してレーザ光の移動量を検出する。これにより、レーザ光が安定して光学系80に入射可能になる。

【0013】光学系80に導かれたレーザ光L1は、コヒーレンス低減光学系6に入射する。一般的にレーザには可干渉性(コヒーレンスを有する)があり、ウェハ1をレーザで照明した場合、回路パターンからスペckルノイズが発生する原因となる。このためレーザ照明では、コヒーレンスを低減する必要がある。コヒーレンスを低減するには、時間的あるいは空間的コヒーレンスのいずれかを低減させればよく、本発明では、図2に示す如く直行する2枚の走査ミラー61、64により、レーザ光を2次元的に走査して、空間的コヒーレンスを低減するようにしている。図3は照明系の模式図である。レーザ光源3から出射され、ビームエキスパンダ5によりある大きさに拡大されたレーザ光L1は、平行光束となってミラー61で反射し、レンズ62で集光後、レンズ63で再度、平行光束となりレンズ7によって対物レンズの瞳11a上に集光される。41、43は走査ミラー61、64でのレーザ光の反射位置を示しており、ウェハ1の表面と共役な位置関係になっている。また、42は対物レンズ11の瞳面11aと共役な第1瞳共役面である。走査ミラー61、63は、電気信号によって回転または揺動する振動ミラーであり、これにより、レーザ光L1は対物レンズ11の瞳面11a上で、2次元的に走査されることになる。走査ミラー61、64へ入力する電気信号としては、例えば三角波や正弦波等であり、入力する電気信号の周波数や振幅を変えることで、対物レンズ11の瞳面11aでの様々な形状の走査が可能である。このため本発明では、第2の実施例として、照明光路中にミラー24を配して、ウェハ1の照明に支障のない照明光量を分岐し、対物レンズ11の瞳面11aと共役な位置に、紫外レーザ光が照射されると蛍光を発するスクリーンを設置した。紫外レーザ光は不可視光であるため、スクリーン25で蛍光を発生させ、これをレンズ26で拡大してTVカメラ27で観察できるようにしたものである。図4はその様子を示すもので、スクリーン25に照射された照明レーザ光をTVカメラ27で撮像したときの受光面での照明パターンの例の模式図きである。これによれば、レーザの照明パターンは黒く表示しているが、実際はレーザ照明部分が明るく表示ので、同図(c)に示す如く、TVカメラの画素をY方向に加算し、明るさの投影をとることにより、対物レンズ11の

瞳径34の中心Xoに対する照明光のずれ量 ΔX を求めることも可能であり、ずれ量は信号処理回路81で算出され、制御回路82からの指令により、コヒーレンス低減光学系6内に設置された走査ミラー61ないし64を駆動して補正可能である。また、TVカメラ27で受光した画像を2値化して、ある明るさ以上の画素を加算することにより照明の面積を算出することができ、照明条件(照明 σ)を最適値に設定することも可能である。

【0014】なお、走査ミラーによる照明光の走査はイメージセンサの蓄積時間内に行うことは言うまでもない。

【0015】照明条件の他の実施例として、対物レンズ11の瞳面での照明をマルチスポットにすることも考えられる。これによれば、照明 σ をかきけるので走査ミラーの走査時間を遅くできるメリットを奏する。図5はコヒーレンス低減光学系6にマルチレンズアレイを配した立体図であり、図6はこれを用いた照明系の模式図である。前述の図2、3との相違点は照明光路中に新たに付加したマルチレンズアレイとレンズ66により、レーザ光L1の複数の光源を作り出し、結果的に対物レンズ11の瞳面11a上に複数のレーザ集光点が形成される構成になっている。複数の光源を作り出す手段としては、例えば、図7(a)に示すシリンドリカルレンズアレイ71を2個直交させて配置(同図(b))させるか、或いは小形の凸レンズが2次元的に配置したレンズアレイ73を光路中に配することで達成される。対物レンズ11瞳上での走査状態を図4(c)に示す。対物レンズ11の瞳面11a上でのレーザ集光点のピッチ110はレンズ66の焦点距離をはじめ、その他のレンズの焦点距離を選定することにより、自由に変えることも可能である。

【0016】ここで光源としているレーザ光は直線偏光を有している。光学系の解像度は照明、あるいは検出の偏光状態により変化するため、本発明では、光路中に偏光素子10a(例えば1/2波長板)、10b(例えば1/4波長板)を設置して、それぞれ回転可能な構成にし、半導体プロセスによりウェハ1上に形成された回路パターンから発する反射光の偏光状態を制御して検出することにより、光学系の性能を向上するようにしている。すなわち、偏光ビームスプリッタ9からイメージセンサ13に至る光路中に設けた、ミラー28、レンズ29、検出器30によって、対物レンズ11の瞳面の空間像を検出するものである。

【0017】図8は検出器30の受光面40に、対物レンズ11の瞳内81の空間像42~44が明画像として投影された状態を示す模式図である。検出器30の受光面には受光素子である画素41が二次元に配列している。42は回路パターンからの0次反射光の明画像であり、43、44はそれぞれ1次反射光の明画像を示している。この中で、反射光量が最も大きいのは0次であ

り、主としてウェハ 1 表面からの反射光である。一方、1 次反射光はパターンエッジで回折した光であり、メモリセル部等の微細パターンが密集した領域で多く発生するが、正反射成分が少ないため強度的には小さい。従って、イメージセンサ 13 の検出感度を 0 次反射光に合わせると、1 次反射光は殆ど検出されなくなる。そこで、検出器 30 の受光面上の特定領域 ($n \times n$ 画素: n は整数) P1~P4 に着目し、各領域の平均明るさを画像処理装置 100 で算出し、0 次、1 次反射光がイメージセンサ 13 のダイナミックレンジ内に入るように、偏光素子 10 を、制御回路からの信号によって、モータ 53 と伝達手段 50 でホルダ 55 を駆動して、ホルダ 55 に保持された偏光素子 10 を、実験的に求めた回転角に設定するものである。モータ 53 は、例えばパルスモータであり、偏光素子 10 の原点位置はセンサ 102 で検出可能になっており、ホルダ 55 の端面に設けた凹部を原点としている。この作業は、例えば設計データ等を用いて、あらかじめ被検査ウェハ 1 上に形成された回路パターンからの反射光を測定して偏光制御することにより、イメージセンサ 13 上に到達するパターンからの反射光強度を平均化でき、安定した欠陥検出感度を得る効果を奏する。

【0018】

【発明の効果】以上、説明したように、本発明によれば、レーザ光源を光学系から分離して設置し、レーザ光路が常に一定になるようにフィードバックすることにより、レーザ光源からの光学系への熱伝導やレーザ装置への機械振動の影響を防止できる。また、コヒーレンス低減手段やマルチスポット照明にしたことにより、レーザ光特有の可干渉性を低減でき、パターンからの反射光を

検出しこれを、偏光制御することにより、安定したパターン欠陥検査を実現する効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係わる被検査パターンの欠陥検査装置の実施例を示す構成図である。

【図 2】レーザ照明の空間的コヒーレンスを低減する光学系の一例を説明するための図である。

【図 3】レーザ照明の空間的コヒーレンスを低減する光学系の模式図である。

【図 4】レーザ照明による対物レンズ瞳上の照明状況を検出するための説明図である。

【図 5】マルチスポットを用いたレーザ照明の空間的コヒーレンスを低減する光学系の一例を説明するための図である。

【図 6】マルチスポットを用いたレーザ照明系の模式図である。

【図 7】マルチスポットを形成する光学素子の一例を説明するための図である。

【図 8】対物レンズ瞳上でのパターンからの反射光状態を説明する図である。

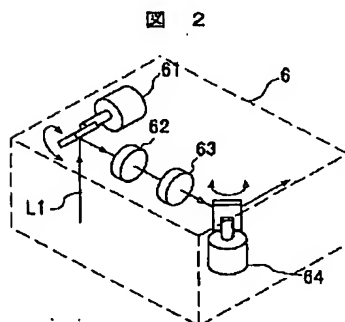
【図 9】回路パターンからの反射光制御手段の一例を示す図である。

【図 10】本発明に係わる被検査パターンの欠陥検査装置の側面図である。

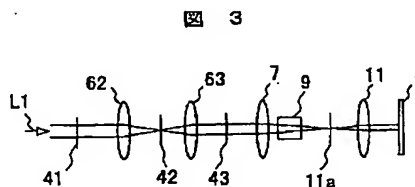
【符号の説明】

1…ウェハ、2…ステージ、3…レーザ光源、6…コヒーレンス低減光学系、9…偏光ビームスプリッタ、10…偏光素子、11…対物レンズ、13…イメージセンサ、23…信号処理回路。

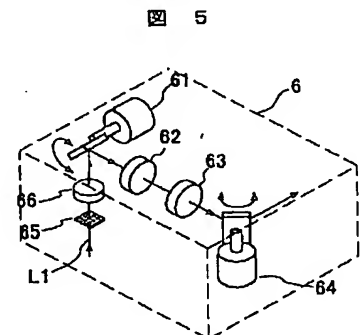
【図 2】



【図 3】

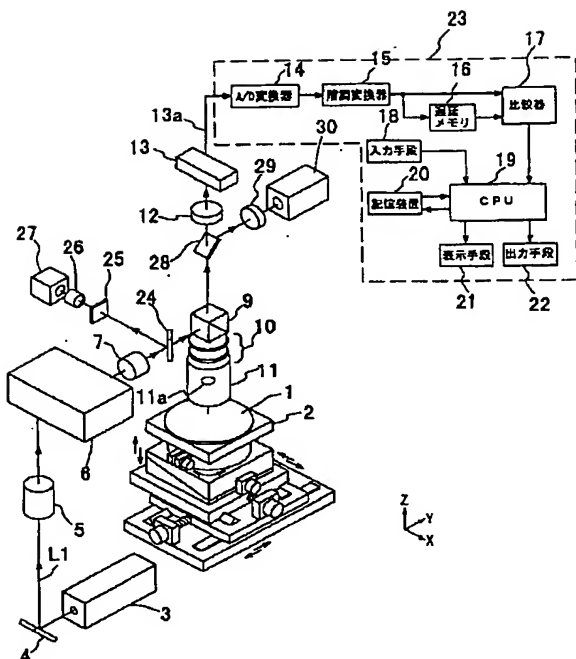


【図 5】



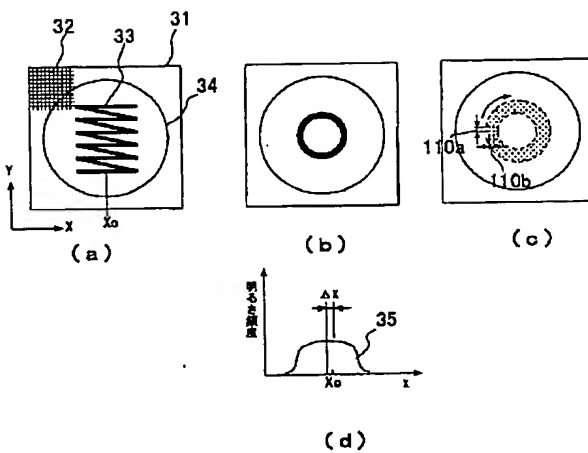
【図 1】

1



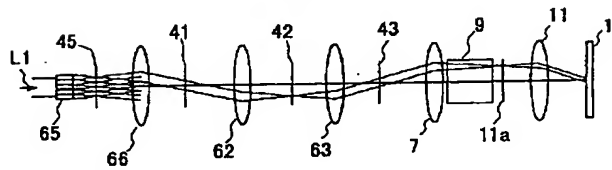
【図4】

图 4



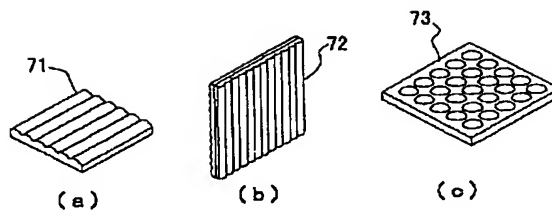
【図 6】

图 6



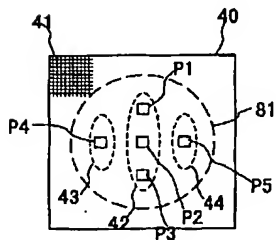
【图 7】

圖 7



【図 8】

8



【図 9】

图 9

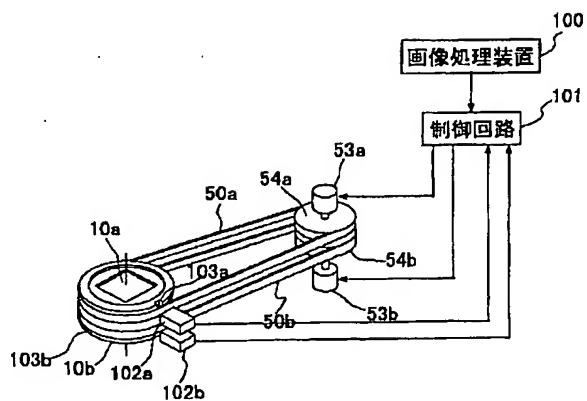
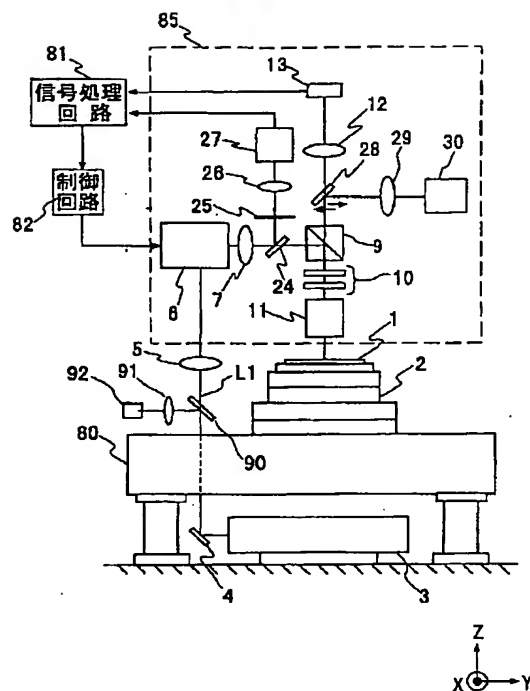


图 10



(72)発明者	中田 俊彦	
	神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地	株
	式会社日立製作所生産技術研究所内	
(72)発明者	前田 俊二	
	神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地	株
	式会社日立製作所生産技術研究所内	

Fターム(参考) 2F065 AA49 BB18 CC18 CC19 FF04
GG04 GG22 HH09 JJ03 JJ26
LL08 LL09 LL12 LL13 LL32
LL36 LL37 PP12 QQ03 QQ23
UU01 UU07
2G051 AA51 AA56 AB01 AB02 BA05
BA10 BA11 BB07 BC05 CA03
CA04 CC20 CD03 DA08 EA11
EB03
4M106 AA01 AA09 AA20 BA05 BA07
CA39 DB01 DB04 DB08 DB14
DJ04 DJ05 DJ23